

OBTENCION DE UN ESQUELETO MORFOLOGICO SIN PUNTOS REDUNDANTES

Ferran MARQUÉS Antoni GASULL Lluís TORRES

Dept. Teoría de la Señal y Comunicaciones
E.T.S.E.T.B. - U.P.C.

ABSTRACT

Skeleton is a powerful method to describe binary images. Although there are different possibilities to define a skeleton, is very common to use morphological skeleton because it is easy and fast for implementation purposes. However, the set of points representing a morphological skeleton is redundant. This paper describes a method for selecting the minimum number of points that have to be kept in order to reconstruct the binary image. Some results show that more than 50% of points can be saved.

1.- INTRODUCCION

Un método para describir imágenes binarias, reduciendo la cantidad de información necesaria para representarla, es utilizar su esqueleto [1]. Por esqueleto de una imagen se entiende un conjunto de líneas y/o puntos aislados que describen de manera esquemática la forma de los objetos en la escena, aportando a su vez información de otros atributos (talla, posición, orientación, etc ...). Entre las distintas definiciones de esqueleto, la más utilizada actualmente es la de esqueleto morfológico, debido a que su algoritmo de cálculo es sencillo y rápido. Además, esta técnica permite recuperar fácilmente la imagen binaria original a partir de su esqueleto.

La definición de esqueleto morfológico utiliza los conceptos de dilatación y erosión morfológica [2]. La dilatación del conjunto de puntos A mediante el elemento estructurante B se denotará como $A \approx B$, mientras que la erosión del conjunto de puntos A mediante el elemento estructurante B se hará como $A \ominus B$. De forma intuitiva, el esqueleto morfológico de una imagen binaria podría verse como el resultado de la comparación de dicha imagen con un conjunto de elementos ordenados por talla. Para obtener con esta comparación una información útil, los elementos de comparación tienen una relación entre sí: se crean mediante un elemento inicial B (elemento estructurante) y las sucesivas dilataciones de éste por sí mismo: $B \approx B$, $B \approx B \approx B$, etc... Por simplicidad de notación, el elemento resultante de concatenar $n-1$ dilataciones ($B \approx B \dots (n-1) \dots B \approx B$) se denotará como B_n .

Más formalmente, mediante los operadores morfológicos comentados anteriormente, se puede definir el conjunto de puntos que forma el esqueleto morfológico $E(\cdot)$ de una imagen binaria I como

$$E(I) = \bigcup_{n=0}^N E_n(I) \quad (1)$$

$$E_n(I) = (I \ominus B_n) - (I \ominus B_{n-1}) \approx B, \quad (2)$$

donde N es el orden del esqueleto.

Como se expresa en (1), un esqueleto morfológico $E(\cdot)$ se compone de distintos niveles o subesqueletos $E_n(\cdot)$. Un subesqueleto dado $E_i(\cdot)$ se compone a su vez de los puntos de la imagen binaria inicial erosionados i veces mediante el elemento estructurante B ($I \ominus B_i$) que no pueden obtenerse tras erosionarla una vez más y posteriormente dilatarla (operación de opening). Esta estructura hace que cada subesqueleto contenga información sobre la forma local de la imagen original a un nivel determinado de talla. Esta idea se puede ver reflejada en el algoritmo de reconstrucción

$$I = \bigcup_n (E_n(I) \oplus B_n) \quad (3)$$

donde cada uno de los niveles del esqueleto es dilatado un número de veces igual a su orden (n) mediante el mismo elemento estructurante que se utilizó para hallar el esqueleto de la imagen. Finalmente, la imagen inicial se reconstruye al unir todos los puntos que componen las distintas dilataciones de cada uno de los subesqueletos.

De este modo se puede ver que los subesqueletos de mayor orden guardan información de la forma aproximada de la imagen, por lo que a través de ellos se puede obtener una aproximación centrada de la imagen original (tomando en la expresión (3) únicamente algunos de los términos de orden superior: $N-i, \dots, N$). Por su parte, los niveles de menor orden del esqueleto contienen la información referente a los detalles en la forma de la imagen inicial. En la figura 1 se ilustran algunos de los conceptos expuestos hasta el momento. Por sencillez, y sin pérdida de generalidad, se muestra el esqueleto de una única estructura geométrica y no de toda una imagen binaria.

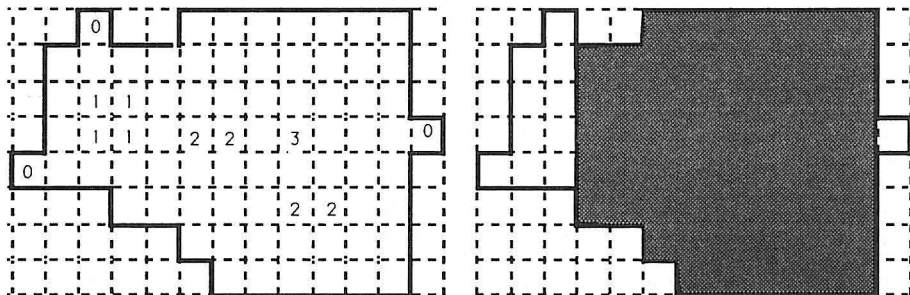


Figura 1.- Ilustración de los conceptos básicos del esqueleto morfológico.

En la parte izquierda de la figura 1 se muestra el contorno de una estructura geométrica y en su interior los puntos pertenecientes a su esqueleto, marcados con el orden del nivel al que pertenecen. El elemento estructurante utilizado a lo largo de todo el artículo es un cuadrado de dimensiones 3x3, aunque los algoritmos que se presentan son válidos para cualquier tipo de elemento. En la parte derecha de la figura, se muestra una aproximación de la forma inicial (zona sombreada), obtenida mediante la dilatación de los dos niveles superiores del esqueleto ($n=2$ y 3).

2.- DETECCION DE PUNTOS REDUNDANTES

En la expresión (3) se puede ver que, en el proceso de recuperación de la imagen original a partir de su esqueleto, se debe dilatar cada uno de los puntos del mismo. Sin embargo, el conjunto de puntos que forma un esqueleto morfológico es redundante en el sentido de que no todos los puntos contenidos en él son necesarios para reconstruir la imagen original [3]. Esto es así debido a que la zona del espacio cubierta por la dilatación de un punto del esqueleto puede solaparse completamente con las zonas cubiertas por las dilataciones de otros puntos pertenecientes al mismo esqueleto. A partir de esta idea se va a desarrollar un procedimiento para discernir entre los elementos del esqueleto que son necesarios para la reconstrucción de la imagen y los que son redundantes.

El primer paso para hallar los puntos redundantes es dilatar cada uno de los elementos del esqueleto guardando, para cada punto de la imagen, la información sobre el número de veces que las distintas dilataciones lo cubren. De esta forma se reconstruyen las formas originales de la imagen, pero no en forma binaria sino multinivel. En la figura 2 se muestra una estructura geométrica con su esqueleto, así como su reconstrucción multinivel, con los puntos pertenecientes al esqueleto marcados.

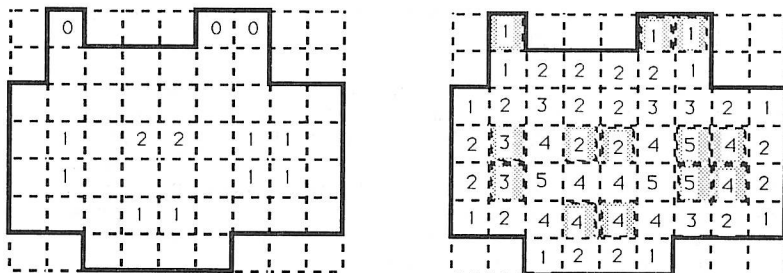


Fig. 2.- Primer paso para la búsqueda de puntos redundantes.

Sobre esta reconstrucción multinivel, se estudia el conjunto de puntos cubiertos por la dilatación de cada uno de los elementos del esqueleto (región de soporte del elemento). Si todos los puntos pertenecientes a una región de soporte tienen un valor superior a la unidad, este elemento del esqueleto es redundante. Esto es debido a que toda la zona de la imagen original que debería ser cubierta por la dilatación de este punto, ya es cubierta por las dilataciones de otros puntos pertenecientes al esqueleto. Para discernir si un nuevo punto del esqueleto es redundante o no, se debe, en primer lugar, restar la unidad al valor de todos los componentes de la región de soporte del punto etiquetado como redundante. El proceso se puede iterar hasta que no se hallen nuevos puntos redundantes. Un ejemplo de este proceso se ilustra en la figura 3. En la parte izquierda de la figura se muestran los contornos de una forma binaria, su reconstrucción multinivel y la región de soporte de un punto redundante

perteneciente al esqueleto. En la parte derecha, se muestra la reconstrucción de la forma binaria anterior una vez eliminado el punto redundante, así como la región de soporte de un nuevo punto.

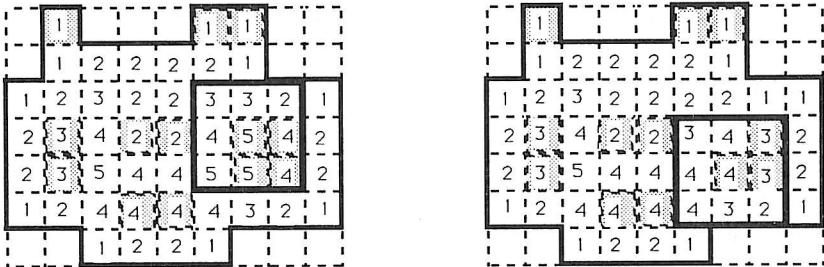


Fig. 3.- Proceso de eliminación de puntos redundantes

3.- ORDEN DE ELIMINACION DE PUNTOS REDUNDANTES

El algoritmo que se ha presentado determina si un punto del esqueleto es redundante o no, y en caso afirmativo lo elimina. Este proceso lleva a resultados finales distintos, dependiendo del orden con que se evalúe cada uno de los puntos del esqueleto. Debido a esto, se ha optado por tomar un criterio de discriminación de puntos redundantes que minimiza el número final de puntos no redundantes. Este criterio tiene dos partes diferentes: la elección del orden de procesado de cada subesqueleto, y la del orden dentro del conjunto de puntos pertenecientes a cada subesqueleto.

Orden de procesado de cada subesqueleto

Al etiquetar un elemento del esqueleto como punto redundante y eliminarlo del conjunto, se actúa sobre los valores de la reconstrucción multinivel. Por tanto, las posibilidades de etiquetar los puntos restantes como puntos redundantes se ven alteradas. Debido a esto, se debe evaluar inicialmente los elementos que menos alteren las posibilidades del resto de componentes del esqueleto. Esta idea conduce a estudiar en primer lugar los elementos de los subesqueletos de orden más bajo, ya que en caso de contener puntos redundantes, su eliminación varía un número de puntos menor en la reconstrucción multinivel (su zona de soporte es menor).

Orden de procesado dentro de cada subesqueleto

Dentro de un mismo nivel del esqueleto, también se debe tener en cuenta el orden de evaluación de los puntos, ya que un orden aleatorio podría llevar a un conjunto de puntos no redundantes mayor de lo necesario. En la figura 4 se muestra este problema mediante una estructura geométrica simple. En la parte de la izquierda, se tiene una forma binaria con su esqueleto marcado (notese que todos los puntos pertenecen al mismo nivel), así como los tres puntos que forman su esqueleto mínimo. En la parte de la derecha, se muestra la misma forma con su esqueleto, en el cual se ha marcado, en cada elemento, su orden de evaluación. Mediante este orden, los puntos no redundantes que se obtienen son los marcados en la figura. Cabe destacar que en este caso, el número final de puntos no redundantes es mayor que en el caso anterior.

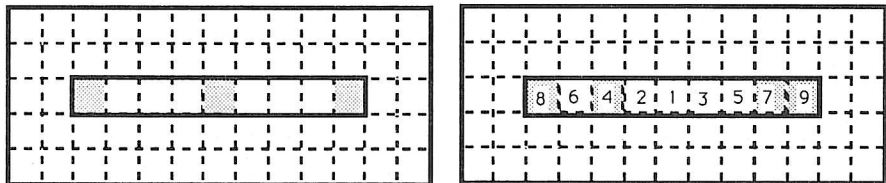


Fig. 4.- Ejemplo de la necesidad de imponer un orden de evaluación aún dentro de un mismo subesqueleto.

Para solucionar este problema, la evaluación de los elementos se empieza por aquéllos cuya región de soporte contenga menos puntos de su mismo nivel que no hayan sido aún evaluados. La idea subyacente en la elección de este orden es la misma que se ha comentado en el caso anterior: evaluar inicialmente aquellos puntos cuya supresión altere lo menos posible la reconstrucción multinivel. La apreciación "que no hayan sido aún evaluados" es necesaria para solucionar posibles ambigüedades (por ejemplo en la figura 4, los puntos marcados con los números del 1 al 5 tendrían el mismo orden de evaluación). De este modo se obtienen subesqueletos con un número de puntos no redundantes mínimo, forzando al mismo tiempo que la distribución de estos elementos sea lo más simétrica posible.

4.- CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un método para discernir si un elemento del esqueleto morfológico de una imagen binaria es redundante con respecto a su reconstrucción, o no. Este método es independiente del tipo de red sobre la que esté definida la imagen, y es válido para cualquier elemento estructurante. Esta técnica puede iterarse hasta eliminar completamente la redundancia contenida en un esqueleto morfológico. Debido a las múltiples soluciones posibles que se pueden alcanzar con dicho algoritmo, dependiendo del orden de evaluación de los puntos, se ha optado por introducir un conjunto de condiciones que llevan a obtener el esqueleto no redundante mínimo posible, a partir del esqueleto original dado. Esta característica, unida al hecho de que la solución final guarda en lo máximo posible las simetrías del esqueleto original, hace que el algoritmo tenga interesantes aplicaciones en la codificación de imágenes binarias y contornos.

REFERENCIAS

- [1] F. Meyer, "Skeletons and Perceptual Graph", Signal Processing Vol. 16, n. 4, April 1989.
- [2] J. Serra, "Image Analysis and Mathematical Morphology", New York: Academic, 1982.
- [3] P. Maragos, R. Schafer, "Morphological Skeleton Representation and Coding of Binary Images", IEEE Trans. ASSP, vol. 34 n. 5, October 1986.